

# 潮流発電ユニット開発の最先端技術：相反回転化

中西 裕二\* 船見 祐揮\*\* 金元 敏明\*\*\*

## Cutting Edge of Tidal Stream Power Generation: Counter-Rotating Type Machine

Yuji NAKANISHI\* Yuki FUNAMI\*\* Toshiaki KANEMOTO\*\*\*

### 1. 緒言

化石燃料に依存した現代社会が抱えるエネルギー問題を克服し、持続可能な循環型社会を構築することが急務となっている。そのような状況に対応するためには再生可能な自然エネルギー資源を有効利用することが必須となる。自然エネルギーには水力や風力など種々の形態のものが存在するが、それらの中でも海洋が有している潜在エネルギーは水力や風力に比べて理論的に2, 3桁以上大きい。海洋が有する運動エネルギーの代表格である潮流を有効利用することを目的として、本プロジェクト研究では新たな発電技術を取り上げる。

潮流の運動エネルギーを取り出す技術としてプロペラ型やダリウス型といった従来型タービンの採用が試みられているが、本プロジェクト研究ではそれらとは異なる「相反転方式」の発電ユニット<sup>(1)</sup>を提案する。「相反転方式」の発電ユニット(図1)は、前後二段のプロペラと内外二重の回転電機子を持つ発電機で構成される。二段のプロペラがそれぞれ二重の回転電機子に連結され、それらを逆方向に駆動する。このことが以下のような従来型の発電ユニットに対する優位性を生み出す。

- ・磁界を切る際の回転電機子の相対速度が速くなる。これが、発電機径の縮小、起電圧の増加、極数の減少を可能にする。また、回転速度の減少にもつながり、キャビテーション抑制効果を得ることもできる。
- ・前後プロペラ間において、および、内外回転電機子間において回転トルクが相殺する。その結果、頑強な据え付けベッドやパイルが不要となる。
- ・前後プロペラ間で回転トルクがつり合い、角運動量変化も相殺するため、前後プロペラを通過した流れは旋回方向速度成分を持たず、自然の海流や潮流を乱すことがない。
- ・回転トルクが一致するのであれば、前後のプロペラ回転速度は任意に選定することができ、様々な海洋環境への対応も容易なものとなる。

本プロジェクト研究では相反転方式潮流発電ユニットを構成する要素のうち、前後のプロペラに焦点を絞って開発および研究を進

める。

潮流発電ユニットは周期的に流れの方向が変化する環境下で運用する必要があり、それに応じた対策が必要となる。いくつかの方法が提案されており、例えば、発電ユニットの向きを変える機構、ブレードピッチ角を制御する機構、双方向翼型が挙げられる<sup>(2)</sup>。双方向翼型は幾何学的に、完全に対称な形状となっており、複雑な機構を要せず、したがってコストも低く抑えることができる。本報告の研究においては双方向翼型方式を採用し、具体的な形状としてはHuang らが設計した翼型<sup>(3)</sup>を用いることとする。

本報告における研究では、双方向翼型を有する相反転方式潮流発電ユニットの風洞試験および数値解析を実施し、プロペラの性能評価を行う。また、比較のために、単一のプロペラを持つ潮流発電ユニットの試験および解析も併せて実施する。

### 2. 潮流発電ユニットの風洞試験

相反転方式および単一プロペラ方式の潮流発電ユニットの性能特性を得るために、潮流発電ユニットの風洞試験を実施した<sup>(4)</sup>。試験に使用したプロペラのブレード枚数は各段とも3枚とした。風洞の風速はおよそ10m/sに設定された。相反転方式においてはレイノルズ数が $3.3 \times 10^5$ から $1.7 \times 10^6$ の範囲で、単一プロペラ方式においてはレイノルズ数が $2.5 \times 10^5$ から $1.6 \times 10^6$ の範囲で試験が行われた。これらの試験の結果は、数値解析の結果と合わせて、図2に示す。

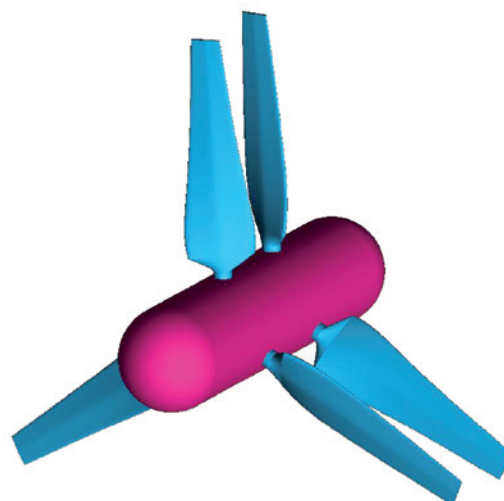


図1 相反転方式潮流発電ユニット

\*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*\*助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*\*\*客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

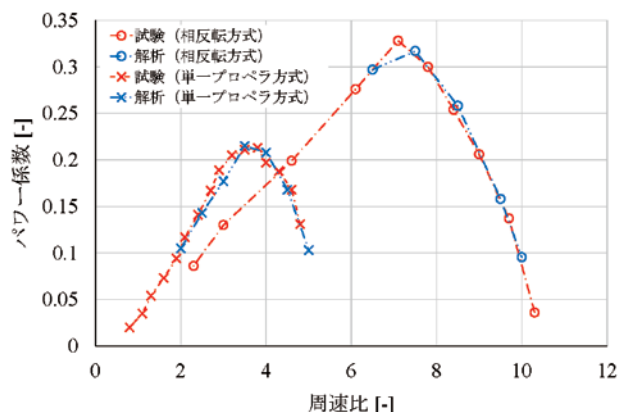


図2 風洞試験および数値解析から得られたパワー係数

### 3. 潮流発電ユニット周りの流れの数値解析

相反転方式および単一プロペラ方式の潮流発電ユニット周りの流れ場に関して数値解析を実施し、性能指標の評価を行った<sup>(5),(6)</sup>。

計算領域は、その内部に発電ユニットを含む直方体形状とした。プロペラ直径を  $D$  とおくと、その領域の大きさが  $2D \times 3D \times 10D$  となるように設定した。計算領域はプロペラ周囲のブロックおよびその他のブロックに分割して作成した。プロペラ周囲のブロックは、相反転方式では前段と後段の二つ、単一プロペラ方式では一つとなる。また、計算負荷低減のために、プロペラ周囲のブロックは一枚のブレードを含む  $120^\circ$  角の部分のみとし、周期境界を設定することで一段全体のプロペラを模擬した。計算格子は四面体形状の非構造格子とし、ブレード表面近傍のみプリズム形状格子を設けた。ブレード表面において無次元距離  $y^+$  の最大値が5以下になるように格子を作成した。

数値解析は、商用 CFD (Computational Fluid Dynamics, 数値流体力学) ソルバである ANSYS CFX 16.2 を用いて実施した。SST (Shear Stress Transport)  $k-\omega$  乱流モデルを導入した非圧縮性ナビエ・ストークス方程式と連続の式の流れ場の支配方程式として採用した。風洞試験と比較するため、作動流体は空気とし、流入速度  $U$  はおよそ  $10 \text{ m/s}$  と設定した。相反転方式においてはレイノルズ数が  $1.1 \times 10^6$  から  $1.6 \times 10^6$  の範囲で、単一プロペラ方式においてはレイノルズ数が  $6.3 \times 10^5$  から  $1.6 \times 10^6$  の範囲で解析を行った。また、相反転方式での解析においては、前後のプロペラの回転トルクが一致する条件にて解析を行った。

数値解析の結果から得られたパワー係数 ( $\equiv P/(0.5\rho U^3 A)$ ) を、風洞試験の結果と合わせて、図2に示す。相反転方式における周速比 ( $\equiv R\omega/U$ ) とパワー係数はいずれも、前段プロペラでの値と後段プロペラでの値を足し合わせた合計値でプロットしている。図2を見ると、相反転方式では周速比7付近でパワー係数は最大値 (約0.33) となり、単一プロペラ方式では周速比3.5付近でパワー係数は最大値 (約0.21) となる。また、相反転方式と単一プロペラ方式のいずれの場合においても、風洞試験と数値解析でパワー係数の良好な一致が見られる。

数値解析の結果から得られた相反手方式における流線の一例を図3に示す。図3を見ると、前後のプロペラを通過した流れは旋回方向速度成分をほとんど持たないことが確認できる。このことは発電ユニットを縦に複数並べて設置する場合に有利となる特徴である。

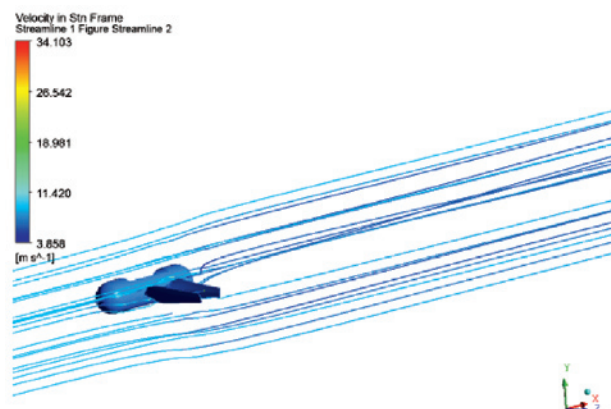


図3 相反転方式潮流発電ユニット周りの流線の一例

### 4. 結言

双方向翼型を有する相反転方式潮流発電ユニットを提案し、風洞試験および数値解析を行うことによってその性能特性を取得した。また、風洞試験と数値解析の結果は良好な一致が見られた。

今後の課題としては、単方向翼型および双方向翼型の好適化の継続検討、潮流発電ユニットをケーブルにて係留した場合における姿勢制御方式の検討、潮流発電ユニットから発生する音響の検討などが挙げられる。本プロジェクト研究では、継続してこれらの課題に取り組む予定である。

本研究の遂行にあたり、Zhejiang University の Bin Huang 博士および九州工業大学の Nak-Joong Lee 博士にご協力いただいた。ここに記してお礼申し上げる。

### 参考文献

- (1) T. Kanemoto, D. Tanaka, T. Kashiwabara, M. Uno and M. Nemoto, Counter-rotating type machine suitable for tidal current power generation, Proc. Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 472-477 (Seattle, 2000.5-6).
- (2) P. Liu, N. Bose, R. Frost, G. Macfarlane, T. Lilienthal, I. Penesis, F. Windsor and G. Thomas, Model testing of a series of bi-directional tidal turbine rotors, Energy, 67, 397-410 (2014).
- (3) B. Huang, G. J. Zhu and T. Kanemoto, Design and performance enhancement of a bi-directional counter-rotating type horizontal axis tidal turbine, Ocean Engineering, 128, 116-123 (2016).
- (4) T. Kanemoto, N.-J. Lee, M.-W. Heo, B. Huang, Y. Nakanishi and Y. Funami, Counter-rotating turbine in unique power unit provided for bidirectional tidal streams, Proc. Twelfth ISOPE Pacific-Asia Offshore Mechanics Symposium, ISOPE-P-16-097 (Gold Coast, 2016.10).
- (5) Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee, B. Huang and T. Kanemoto, Counter-rotating type horizontal-axis bidirectional propellers for tidal stream power unit, Journal of Power and Energy Engineering, 5(7), 34-44 (2017).
- (6) Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee and T. Kanemoto, Bidirectional type horizontal-axis propeller installed in tidal stream power unit, Proc. Thirteenth International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, ISAIF13-S-0034 (Okinawa, 2017.5).